

POWERED BY **Dialog**

PROJECTION OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE DEVICE AND EXPOSURE METHOD

Publication Number: 2002-006221 (JP 2002006221 A) , January 09, 2002

Inventors:

- TAKAHASHI YUTO

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 2000-191745 (JP 2000191745) , June 26, 2000

International Class:

- G02B-017/06
- G02B-013/14
- G02B-013/18
- G02B-013/22
- G02B-013/24
- G03F-007/20
- H01L-021/027

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system having an improved image forming performance while reducing the diameter of a reflection mirror, and to provide an exposure device equipped with the projection optical system and to provide the exposure method. **SOLUTION:** As for the projection optical system PL, a 1st reflection optical system 10 for image-forming an object on a 1st surface R on a 2nd surface IM is composed of a 1st reflection mirror M1 having a concave reflection surface and a 2nd reflection mirror M2 having a concave reflection surface and a 2nd reflection optical system 20 for image-forming an image on a 2nd surface IM on a 3rd surface W is composed of a 3rd reflection mirror M3, a 4th reflection mirror M4 having concave reflection surface, a 5th reflection mirror M5 having a convex reflection surface and a 6th reflection mirror M6 having a concave reflection surface. The vertex of the 4th reflection mirror M4 is arranged closer to the 3rd surface W than the vertex of the 1st reflection mirror M1, and the vertex of the 6th reflection mirror M6 is arranged between the vertex of the 3rd reflection mirror M3 and the vertex of the 4th reflection mirror M4. **COPYRIGHT:** (C)2002,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 7137849

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-6221

(P2002-6221A)

(43)公開日 平成14年1月9日(2002.1.9)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)
G 0 2 B	17/06	G 0 2 B	2 H 0 8 7
	13/14		5 F 0 4 6
	13/18		
	13/22		
	13/24		

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-191745(P2000-191745)

(22)出願日 平成12年6月26日(2000.6.26)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 高橋 友刀

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外5名)

Fターム(参考) 2H087 KA21 LA01 NA02 NA05 RA05

RA13 TA02 TA06

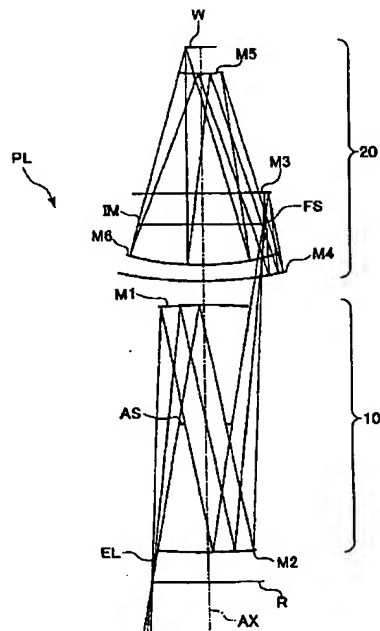
5F046 BA03 CB03 DA12

(54)【発明の名称】 投影光学系、露光装置及び露光方法

(57)【要約】

【課題】 反射鏡の径を小さく抑えつつ、優れた結像性能を有する投影光学系、及びこの投影光学系を備えた露光装置及び露光方法を提供する。

【解決手段】 投影光学系PLは、第1面R上の物体を第2面IM上に結像する第1反射光学系10は、凹面状の反射面を持つ第1反射鏡M1と凹面状の反射面を持つ第2反射鏡M2とからなっており、第2面IM上の像を第3面W上に結像する第2反射光学系20は、第2反射光学系20は、第3反射鏡M3と凹面状の反射面を持つ第4反射鏡M4と凸面状の反射面を持つ第5反射鏡M5と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡M6とからなっている。そして、第4反射鏡M4の頂点が第1反射鏡M1の頂点より第3面W側に配置され、第3反射鏡M3の頂点と第4反射鏡M4の頂点との間に第6反射鏡M6の頂点が配置されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、

前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを備え、

前記第3面上に前記第1面の物体の縮小像を形成する投影光学系において、

前記第1反射光学系及び前記第2反射光学系は、前記第1面と前記第3面との間に、該第2反射光学系が前記第1反射光学系より前記第3面側に配置されるように所定の光軸に沿って直列に配置されており、

前記第1反射光学系は、凹面状の反射面を持つ第1反射鏡と凹面状の反射面を持つ第2反射鏡とよりなる第1ミラー対からなり、

前記第2反射光学系は、所定形状の反射面を持つ第3反射鏡と凹面状の反射面を持つ第4反射鏡とよりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡とよりなる第3ミラー対とからなり、

前記第4反射鏡の頂点が前記第1反射鏡の頂点より前記第3面側に配置され、

前記第3反射鏡の頂点と前記第4反射鏡の頂点との間に前記第6反射鏡の頂点が配置されており、

前記第1面からの光は、前記第1ミラー対を経由した後前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光は前記第3反射鏡及び前記第4反射鏡の順で前記第2ミラー対を反射し、前記第2ミラー対を反射した光は前記第5反射鏡及び前記第6反射鏡の順で前記第3ミラー対を反射して前記第3面へ導かれることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 請求項1に記載の投影光学系において、前記第5反射鏡の頂点と前記第6反射鏡の頂点との間に、前記第3反射鏡の頂点が配置されていることを特徴とする投影光学系。

【請求項3】 請求項1又は2に記載の投影光学系において、

前記第1、第3及び第5反射鏡は、各反射面が前記第1面側に向くようにそれぞれ配置され、

前記第2、第4及び第6反射鏡は、各反射面が前記第3面側に向くようにそれぞれ配置されていることを特徴とする投影光学系。

【請求項4】 請求項1～3のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第1～第6反射鏡は、前記所定の光軸に対して同軸に配置されていることを特徴とする投影光学系。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第1ミラー対を構成する前記第1反射鏡及び第2反射鏡のそれぞれの頂点の間に開口絞りを備え、

前記開口絞りは、該開口絞りに入射する光束の全周を囲

む形状であることを特徴とする投影光学系。

【請求項6】 請求項5に記載の投影光学系において、前記開口絞りは、前記第3面側がテレセントリックとなるように設定されていることを特徴とする投影光学系。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第1反射鏡の近軸領域での曲率を p_1 、前記第2反射鏡の近軸領域での曲率を p_2 、前記第3反射鏡の近軸領域での曲率を p_3 、前記第4反射鏡の近軸領域での曲率を p_4 、前記第5反射鏡の近軸領域での曲率を p_5 、前記第6反射鏡の近軸領域での曲率を p_6 とすると、 $-0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

【請求項8】 請求項1～7のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第2面上に視野絞りを備えることを特徴とする投影光学系。

【請求項9】 請求項1～8のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第1及び第2反射光学系は、それぞれ縮小倍率を有することを特徴とする投影光学系。

【請求項10】 マスクに露光光を照明し、該マスクに形成されたパターンの像を投影光学系を介して感光基板上に投影する露光装置において、

前記投影光学系は、請求項1～請求項9のいずれか一項に記載の投影光学系によって構成されていることを特徴とする露光装置。

【請求項11】 マスクに露光光を照明し、該露光光に基づいて前記マスクに形成されたパターンの像を感光基板上に形成する露光方法において、

請求項1～請求項9のいずれか一項に記載の投影光学系を用いて前記パターンの像を前記感光基板上に形成することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば基板上にマスクのパターンの縮小像を形成する投影光学系、及びこの投影光学系を備えた露光装置及び露光方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、半導体デバイスや液晶表示デバイスをリソグラフィ技術を用いて製造する際に、パターンが形成されたマスクに露光用照明光（露光光）を照明し、このマスクのパターンの像を投影光学系を介してフォトリソ等感光剤が塗布された半導体ウエハやガラスプレート等の基板上に投影露光することが行われているが、近年においては、パターンの微細化の要求がますます高まっているため、この投影露光を行う露光装置は、より解像力の高いものが要求されている。

【0003】この要求を満足するためには、光源から射出される露光光の波長を短波長化し、且つ光学系の開口数(NA)を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のために実用に耐える光学ガラスは限られ、例えば、波長が180nm以下となると、実用上使用できる硝材は蛍石だけとなる。また、さらに短波長の紫外線やX線になると、使用できる光学ガラスは存在しなくなる。このような場合、屈折光学系だけか、または反射屈折光学系で縮小投影光学系で構成することは、全く不可能となる。

【0004】そのため、反射系のみで投影光学系を構成する、いわゆる反射屈折縮小投影光学系が、例えば特開平9-211332号公報や、特開平10-90602号公報に提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】特開平9-211332号公報に開示されている投影光学系は、凹凸凹の構成の反射面からなる2組の縮小光学系により構成されており、この2組の縮小光学系の間に中間像が形成されている。この光学系の利点は、反射面枚数が6面となり、収差補正の自由度が増えること、自然に反射面枚数が偶数になるので折り返しのためだけの平面反射鏡が不要なこと、また、全体の光学系の縮小倍率をそれぞれの部分光学系に分担できるので部分光学系の負担を軽減することが可能であることなどである。しかしながら、このような構成においては、2つの部分光学系を、1対のミラー対でつないでいるために、この接続部分のミラー対の径が大きくならざるを得ないという問題がある。

【0006】また、特開平10-90602号公報に開示されている投影光学系は、凹面鏡、凸面鏡、凸面鏡、凹面鏡の4枚のミラーを2組直列に配置したもので、全部で8枚の反射鏡により構成されており、途中で中間像が形成されるようになっている。しかしながら、このような構成においては、反射鏡の数が多いために、光量の低下を招くとともに、製造公差の点から見ても不利である。

【0007】本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、反射面を6面以下としながら、反射鏡の径を小さく抑えつつ、優れた結像性能を有する投影光学系、及びこの投影光学系を備えた露光装置及び露光方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため本発明は、実施の形態に示す図1～図6に対応付けした以下の構成を採用している。本発明の投影光学系は、第1面(R)上の物体を第2面(IM)上に結像する第1反射光学系(10)と、第2面(IM)上の像を第3面(W)上に結像する第2反射光学系(20)とを備え、第3面(W)上に第1面(R)の物体の縮小像を形成する投影光学系(PL)において、第1反射光学系

(10)及び第2反射光学系(20)は、第1面(R)と第3面(W)との間に、この第2反射光学系(20)が第1反射光学系(10)より第3面(W)側に配置されるように所定の光軸(AX)に沿って直列に配置されており、第1反射光学系(10)は、凹面状の反射面を持つ第1反射鏡(M1)と凹面状の反射面を持つ第2反射鏡(M2)とよりなる第1ミラー対からなり、第2反射光学系(20)は、所定形状の反射面を持つ第3反射鏡(M3)と凹面状の反射面を持つ第4反射鏡(M4)とよりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡(M5)と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡(M6)とよりなる第3ミラー対とからなり、第4反射鏡(M4)の頂点が第1反射鏡(M1)の頂点より第3面(W)側に配置され、第3反射鏡(M3)の頂点と第4反射鏡(M4)の頂点との間に第6反射鏡(M6)の頂点が配置されており、第1面(R)からの光は、第1ミラー対を経由した後に第2面(IM)上に中間像を形成し、この中間像からの光は第3反射鏡(M3)及び第4反射鏡(M4)の順で第2ミラー対を反射し、第2ミラー対を反射した光は第5反射鏡(M5)及び第6反射鏡(M6)の順で第3ミラー対を反射して第3面(W)へ導かれることを特徴とする。

【0009】本発明によれば、所定形状の反射面を有する第3反射鏡(M3)と凹面状の反射面を有する第4反射鏡(M4)との距離を短く設定可能となるので、第3反射鏡(M3)から第4反射鏡(M4)への光束の広がり小さく抑えることができる。したがって、第4反射鏡(M4)をはじめとする各反射鏡の径を小さく抑えつつ良好な結像性能を得ることができる。

【0010】そして、第5反射鏡(M5)の頂点と第6反射鏡(M6)の頂点との間に、第3反射鏡(M3)の頂点を配置することにより、第5反射鏡(M5)と第3面(W)との間の距離(ワーキングディスタンス)を大きくとることが可能となる。すなわち、凸面状の反射面を有する第5反射鏡(M5)は、第3面(W)に対しては凹面状部分を向けて配置されることになるので、第5反射鏡(M5)と第3面(W)との間の距離は長くなり、大きなワーキングディスタンスを確保することができる。このため、この第3面(W)に感光基板をロードする場合などの作業性を向上することができる。

【0011】第1、第3及び第5反射鏡(M1、M3及びM5)は、各反射面が第1面(R)側に向くようにそれぞれ配置され、第2、第4及び第6反射鏡(M2、M4及びM6)は、各反射面が第3面(W)側に向くようにそれぞれ配置されているので、第1面(R)からの光は各反射鏡間で交互に反射を繰り返しながら第3面(W)側に導かれる。そして、このような構成にすることにより第1面(R)と第3面(W)との距離を短くすることが可能となるため、投影光学系(PL)全体のコンパクト化を実現することができる。

10

20

30

40

50

【0012】第1～第6反射鏡(M1～M6)を、所定の光軸(AX)に対して同軸に配置することによって、投影光学系(PL)全体のコンパクト化を実現することができるとともに、各反射鏡(M1～M6)の鏡筒組み込み・調整を容易にすることができる。

【0013】第1ミラー対を構成する第1反射鏡(M1)及び第2反射鏡(M2)のそれぞれの頂点の間に開口絞り(AS)を備え、開口絞り(AS)は、この開口絞り(AS)に入射する光束の全周を囲む形状とすることができる。このように、第1反射鏡(M1)の頂点と第2反射鏡(M2)の頂点との間に、通常の構成を有する開口絞り(AS)を設けることができる。そして、開口絞り(AS)を配置することにより収差補正の自由度は増加する。すなわち、6つの反射面(反射鏡)の他に、この開口絞り(AS)の光軸方向の位置を調整することによっても収差補正を行うことができる。

【0014】このとき、開口絞り(AS)は、第3面(W)側がテレセントリックとなるように設定されることが好ましく、この場合、良好な結像特性を得ることができる。

【0015】第1反射鏡(M1)の近軸領域での曲率を p_1 、第2反射鏡(M2)の近軸領域での曲率を p_2 、第3反射鏡(M3)の近軸領域での曲率を p_3 、第4反射鏡(M4)の近軸領域での曲率を p_4 、第5反射鏡(M5)の近軸領域での曲率を p_5 、第6反射鏡(M6)の近軸領域での曲率を p_6 とすると、 $-0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$ の条件を満足するように設定することにより、第3面(W)上に形成される像(第1面の像)に関する像面(結像面)の十分なコントロールを行うことが可能となる。

【0016】また、第2面(IM)上に視野絞り(FS)を備える構成とすることが可能となり、この場合、第1面(R)上を照明する照明系中の視野絞りを不要とする構成とすることが可能となる。

【0017】第1及び第2反射光学系(10及び20)は、それぞれ縮小倍率を有するので、全体の光学系の縮小倍率を各反射光学系(10、20)にて分担できるため、各反射光学系の負担を軽くすることができる。

【0018】本発明の露光装置は、マスク(R)に露光光(EL)を照明し、このマスク(R)に形成されたパターンを投影光学系(PL)を介して感光基板(W)上に投影する露光装置において、投影光学系は、請求項1～請求項9のいずれか一項に記載の投影光学系(PL)によって構成されていることを特徴とする。

【0019】また、本発明の露光方法は、マスク(R)に露光光(EL)を照明し、この露光光(EL)に基づいてマスク(R)に形成されたパターンを感光基板(W)上に形成する露光方法において、請求項1～請求項9のいずれか一項に記載の投影光学系(PL)を用い

て前記パターンを感光基板(W)上に形成することとを特徴とする。

【0020】本発明によれば、良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の投影光学系、露光装置及び露光方法について図面を参照しながら説明する。図1は本発明に係る投影光学系の横断面の光路図であり、図1では光束の幅は横断面のみを表している。

【0022】図1において、投影光学系PLは、第1面R上の物体を第2面IM上に結像する第1反射光学系10と、第2面IM上の像を第3面W上に結像する第2反射光学系20とを備えており、第3面W上に第1面R上の物体の縮小像を形成する反射縮小投影光学系となっている。

【0023】第1反射光学系10は、凹面状の反射面を持つ第1反射鏡M1と凹面状の反射面を持つ第2反射鏡M2とよりなる第1ミラー対からなっている。第2反射光学系20は、所定形状の反射面を持つ第3反射鏡M3と凹面状の反射面を持つ第4反射鏡M4とよりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡M5と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡M6とよりなる第3ミラー対とからなっている。そして、第1反射光学系10及び第2反射光学系20は、第1面M1と第3面M3との間に、第2反射光学系20が第1反射光学系10より第3面W側に配置されるように投影光学系PLの光軸AXに沿って直列に配置されている。このとき、各反射鏡M1～M6は光軸AXに対して同軸に配置されている。

【0024】第4反射鏡M4の頂点は、第1反射鏡M1の頂点より第3面W側に配置されており、第3反射鏡M3の頂点と第4反射鏡M4の頂点との間に第6反射鏡M6の頂点が配置されている。また、第5反射鏡の頂点と第6反射鏡の頂点との間に第3反射鏡の頂点が配置されている。すなわち、各反射鏡は、第1面R側から第3面W側にむかって、第2反射鏡M2、第1反射鏡M1、第4反射鏡M4、第6反射鏡M6、第3反射鏡M3、第5反射鏡M5の順で配置されている。

【0025】なお、反射鏡の頂点とは、反射面とその反射面の基準軸とが交差する点であり、反射面の基準軸とは、その反射面の頂点とその反射面の近軸曲率中心とを結ぶ軸を意味する。

【0026】それぞれのミラー対のうち、第1反射鏡M1、第3反射鏡M3、第5反射鏡M5は、それぞれの反射面が第1面R側に向くように配置されており、第2反射鏡M2、第4反射鏡M4、第6反射鏡M6は、それぞれの反射面が第3面W側に向くように配置されている。このとき、第5反射鏡M5の凹面状部分と第3面Wとが対向した構成となっている。

【0027】そして、第1面Rからの光ELは、第1反射鏡M1及び第2反射鏡M2の順で第1ミラー対を反射した後に第2面IM上に中間像を形成し、この中間像からの光は第3反射鏡M3及び第4反射鏡M4の順で第2ミラー対を反射し、第2ミラー対を反射した光は第5反射鏡M5及び第6反射鏡M6の順で第3ミラー対を反射して第3面Wへ導かれる。このとき、第2面IM上には視野絞りFSが設けられている。

【0028】第1ミラー対の第1反射鏡M1と第2反射鏡M2とのそれぞれの頂点の間には、開口絞りASが設けられている。この開口絞りASは開口部の口径を可変としており、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間の光軸方向の任意の位置に設置可能であるが、第3面W側がテレセントリックとなるように位置決めされることが好ましい。

【0029】以上説明したような各反射鏡の配置構成とすることにより、第3反射鏡M3と第4反射鏡M4との距離を短く設定することができるので、第3反射鏡M3から第4反射鏡M4への光束の広がり小さく抑えることができる。したがって、第4反射鏡M4ををはじめとする各反射鏡の径を小さく抑えつつ良好な結像性能を得ることができる。

【0030】本実施形態において、投影光学系PLに用いられた反射鏡は6枚と少ないので、この投影光学系PLを露光装置に適用した場合、露光光の光量の低下の恐れは低減されるとともに、反射面の面形状誤差による結像性能の劣化を招く恐れも低減される。例えば、露光光として、波長5～15nmの軟X線領域の光（以下、この光を「EUV（Extreme Ultra Violet）光」と称する）や、この波長以下の硬X線領域の光を用いた場合、この波長域における反射膜の反射率が低くても、反射面の数が6面だけなので実用上問題無い程度の光量を確保することができる。

【0031】第5反射鏡M5の頂点と第6反射鏡M6の頂点との間に第3反射鏡M3の頂点を配置し、第5反射鏡M5の凹面状部分と第3面Wとが対向するようにしたので、第5反射鏡M5と第3面Wとの間の距離（ワーキングディスタンス）を大きくとることが可能となる。このため、この第3面Wに感光基板をロードする場合などの作業性を向上することができる。

【0032】第1反射鏡M1、第3反射鏡M3及び第5反射鏡M5は、各反射面が第1面R側に向くようにそれぞれ配置され、第2反射鏡M2、第4反射鏡M4及び第6反射鏡M6は、各反射面が第3面W側に向くようにそれぞれ配置されているので、第1面Rからの光ELは各反射鏡間で交互に反射を繰り返しながら第3面W側に導かれる。そして、このような構成にすることにより、光路を折り返すための平面反射鏡が不要であるとともに、第1面Rと第3面Wとの距離を短くすることが可能となるため、投影光学系PL全体のコンパクト化を実現する

ことができる。さらに、各反射鏡M1～M6を、光軸AXに対して同軸に配置することによっても、投影光学系PL全体のコンパクト化を実現することができるとともに、各反射鏡M1～M6の鏡筒組み込み・調整を容易にすることができる。

【0033】本実施形態においては、第1ミラー対を構成する第1反射鏡M1及び第2反射鏡M2のそれぞれの頂点の間に開口絞りASを配置することが可能となり、この場合には、開口絞りASの開口部形状を、開口絞りASを通過する光束の全周を囲む形状とすることができ、通常の開口絞りの構成を採用することができる。このとき、開口絞りASの光軸方向の位置は、第3面Wがテレセントリックとなるように位置決めさせることが好ましく、この場合、良好な結像特性を得ることができる。

【0034】そして、開口部の口径を可変とする開口絞りASを調整することによって収差補正を行うことができるとともに、各反射鏡M1～M6の反射面の形状を非球面状とし、この形状を任意に設定することによっても収差補正を行うことが可能となる。したがって、本実施形態においては、収差補正は、各反射鏡の反射面の形状の調整のほか、開口絞りASの光軸方向の位置の調整によっても行うことができ、自由度の高い収差補正を行うことができる。

【0035】第1反射鏡M1の近軸領域での曲率を p_1 、第2反射鏡M2の近軸領域での曲率を p_2 、第3反射鏡M3の近軸領域での曲率を p_3 、第4反射鏡M4の近軸領域での曲率を p_4 、第5反射鏡M5の近軸領域での曲率を p_5 、第6反射鏡M6の近軸領域での曲率を p_6 とすると、 $-0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$ （1）の条件を満足するように設定することにより、第3面W上に形成される像（第1面の像）に関する像面（結像面）の十分な制御を行うことが可能となる。

【0036】すなわち、条件式（1）の下限を逸脱すると、第3面Wに形成される像面が凹状に湾曲し過ぎてしまう。このため、第3面Wにて発生する像面湾曲の量は投影光学系PLにて補正できる範囲を大幅に超えてしまい、像の劣化をもたらす。また、条件式（1）の上限を逸脱すると、第3面Wに形成される像面が凸状に湾曲し過ぎてしまう。このため、その第3面Wにて発生する像面湾曲の量は投影光学系PLにて補正できる範囲を大幅に超えてしまい、像を劣化をもたらす。しかしながら、各反射鏡M1～M6にて発生するベッツパル和を、条件式（1）のように小さく抑えることにより、像面全体を平坦にすることができ、良好な結像性能を得ることができる。

【0037】また、本実施形態においては、第2面IM上に視野絞りFSを備える構成とすることが可能となり、この場合、第1面R上を照明する照明系中の視野絞

りを不要とする構成とすることが可能となる。

【0038】第1反射光学系10及び第2反射光学系20は、それぞれ縮小倍率を有するので、全体の光学系の縮小倍率を各反射光学系10、20にて分担できるため、各反射光学系の負担を軽くすることができる。

【0039】次に、図2を参照しながら、本発明に係る投影光学系PLを備えた露光装置Eについて説明する。図2は本発明に係る投影光学系PLを備えた露光装置Eの構成図である。この露光装置Eは、反射型レチクル（マスク）Rに露光用照明光（露光光）ELを照射し、レチクルRに形成されたパターンの一部の像を投影光学系PLを介して感光基板W上に投影しつつ、レチクルRと感光基板Wとを投影光学系PLに対して1次元方向（Y方向）に相対走査することによって、レチクルRのパターンの全体を感光基板W上の複数のショット領域の各々にステップ・アンド・スキャン方式で転写するものである。本実施形態では、露光光ELとして波長5～15nm程度の軟X線領域の光（EUV光）が用いられている。なお、図2においては、投影光学系PLの光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する方向であってレチクルR及び感光基板Wの走査方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。

【0040】図2において、露光装置Eは、光源30からの光束をレチクルステージRSに支持されるレチクルRに照明する照明光学系3と、露光光ELで照明されたレチクルRのパターンの像を感光基板W上に投影する投影光学系PLと、基板Wを支持する基板ステージWSとを備えている。本実施形態における露光光であるEUV光は、大気に対する透過率が低いので、EUV光が通過する光路は真空チャンバVCにより覆われて外気より遮断されている。

【0041】図2における照明光学系3について説明する。光源30は、赤外域～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等を用いることができる。このレーザ光は第1集光光学系31により集光されて位置32に集光する。ノズル33は気体状の物体を位置32に向けて噴出し、この噴出された物体は位置32において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

【0042】この位置32の周囲には、第2集光光学系を構成する楕円鏡34が配置されており、この楕円鏡34は、その第1焦点が位置32とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡34の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡34の第2焦点で一度集光した後、第3集光光学系を構成するコリメート鏡としての放物面鏡35へ向かう。放物面鏡35は、その焦点が楕

円鏡34の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

【0043】放物面鏡35から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオブティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系36へ向かう。反射型フライアイ光学系36は、複数の反射面を集積した第1の反射素子群36aと、第1の反射素子群36aの複数の反射面と対応した複数の反射面を有する第2の反射素子群36bとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群36a、36bを構成する複数の反射面上にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられている。

【0044】放物面鏡35からのコリメートされたEUV光は、第1の反射素子群36aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群36bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群36bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系36は、放物面鏡35からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。尚、このような反射型フライアイ光学系36については、本願出願人による特願平10-47400号に提案されている。

【0045】本実施形態では、2次光源の形状を制御するために、第2の反射素子群36b近傍には、第1開口絞りとしてのσ絞りAS1が設けられている。このσ絞りAS1は、例えば互いに形状が異なる複数の開口部をターレット状に設けたものからなる。そして、σ絞り制御ユニットASC1により、どの開口部を光路内に配置するのかの制御が行われる。

【0046】さて、反射型フライアイ光学系36により形成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー37へ向かい、このコンデンサミラー37にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー38を介して、レチクルRに達する。これらコンデンサミラー37及び光路折り曲げミラー38の表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー37は、2次光源から発するEUV光を集光して、レチクルRを均一照明する。

【0047】なお、本実施形態では、レチクルRへ向かう照明光と、このレチクルRにて反射されて投影光学系PLへ向かうEUV光との光路分離を空間的に行うために、照明光学系3は非テレセントリック系であり、かつ投影光学系PLもレチクル側非テレセントリックな光学系としている。

【0048】さて、レチクルR上には、EUV光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射

膜は、感光基板W上へ転写すべきパターンの形状に応じたパターンとなっている。このレチクルRにて反射されて、レチクルRのパターン情報を含むEUV光は、投影光学系PLに入射する。

【0049】投影光学系PLは、図1において説明した通り、反射鏡M1～M6の6枚構成となっており、第1反射鏡M1とレチクルRとの間の光路中（反射鏡M1と反射鏡M2との頂点の間）には、第2の開口絞りとしての可変開口絞りASが配置されている。この可変開口絞りASは、その開口部の口径が可変となるように構成されており、その口径は可変開口絞り制御ユニットASC2により制御される。

【0050】また、第2反射鏡M2と第3反射鏡M3との間の光路中の中間像形成位置には視野絞りFSが配置されている。なお、投影光学系PLを構成する反射鏡M1～M6は、基板上にEUV光を反射する多層膜を設けたものからなる。

【0051】レチクルRにて反射されたEUV光は、投影光学系PLを通過して、感光基板W上の円弧形状の露光領域内に、所定の縮小倍率 β （例えば $|\beta| = 1/4, 1/5, 1/6$ ）のもとでレチクルRのパターンの縮小像を形成する。なお、本実施形態においては、露光領域の形状は、投影光学系PL内に設けられた視野絞りFSにより規定される。

【0052】レチクルRは少なくともY方向に沿って移動可能なレチクルステージRSにより支持されており、感光基板WはXYZ方向に沿って移動可能な基板ステージWSにより支持されている。これらのレチクルステージRS及び基板ステージWSの移動は、それぞれレチクルステージ制御ユニットRSC及び基板ステージ制御ユニットにより制御される。露光動作の際には、照明光学系3によりレチクルRに対してEUV光を照射しつつ、投影光学系PLに対してレチクルR及び感光基板Wを、投影光学系PLの縮小倍率により定まる所定の速度比で移動させる。これにより、感光基板W上の所定のショット領域内には、レチクルRのパターンが走査露光される。

【0053】なお、本実施形態において、 σ 絞りAS1、可変開口絞りAS、視野絞りFSは、EUV光を十分に遮光するために、Au、Ta、Wなどの金属から構成されることが好ましい。また、以上述べた各反射鏡の表面の反射面は、EUV光を反射するために反射膜としての多層膜が形成されている。この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されている。

【0054】《実施例》以下、本発明に係る投影光学系の数値実施例について説明する。図1は第1実施例の投影光学系PLの横断面の光路図であり、図4は第2実施例の投影光学系PLの横断面の光路図である。なお、図1及び図4において、横断面における光束の幅のみを示

している。

【0055】ここで、図1に示す第1実施例に係る投影光学系PLは前述した通りである。一方、図4に示す第2実施例に係る投影光学系PL2の各反射鏡の構成及び配置は、第1実施例の投影光学系PLと同じである。すなわち、第1及び第2実施例の投影光学系PLは、第1面R上の物体の縮小像を第2面IM上に結像する第1反射光学系10と、第2面IM上の像を第3面W上に縮小結像する第2反射光学系20とを備えており、第3面W上に第1面Rの物体の縮小像を形成するようになっている。第1反射光学系10及び第2反射光学系20は、第1面Rと第3面Wとの間に、第2反射光学系20が第1反射光学系10より第3面W側に配置されるように光軸AXに沿って直列に配置されており、第1反射光学系10は、凹面状の反射面を持つ第1反射鏡M1と凹面状の反射面を持つ第2反射鏡M2とよりなる第1ミラー対からなり、第2反射光学系20は、凹面状の反射面を持つ第3反射鏡M3と凹面状の反射面を持つ第4反射鏡M4とよりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡M5と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡M6とよりなる第3ミラー対とからなり、第4反射鏡M4の頂点が第1反射鏡M1の頂点より第3面W側に配置され、第3反射鏡M3の頂点と第4反射鏡M4の頂点との間に第6反射鏡M6の頂点が配置され、第5反射鏡M5の頂点と第6反射鏡M6の頂点との間に、第3反射鏡M3の頂点が配置されている。

【0056】また、各反射鏡M1～M6は、共通の光軸AX状に沿って互いに共軸となるように配置されており、さらに、第2反射鏡M2と第3反射鏡M3との間の光路上でも中間像が形成される位置IMには、視野絞りFSが配置されている。また、光軸AX上であって第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間の光路中には開口絞りASが配置されている。

【0057】そして、第1面Rからの光ELは、第1ミラー対を経由した後に第2面IM上に中間像（縮小像）を形成し、この中間像からの光は第3反射鏡M3及び第4反射鏡M4の順で第2ミラー対を反射し、第2ミラー対を反射した光は第5反射鏡M5及び第6反射鏡M6の順で第3ミラー対を反射して第3面Wへ導かれ、この第3面W上にて縮小像が形成される。

【0058】ところで、第1及び第2実施例における各反射鏡は光軸AXに関して回転対称な非球面形状を有しており、この非球面形状は次式で表される。

【0059】

【数1】

$$Y = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10}$$

【0060】ここで、

Y：中心接平面から非球面までの距離

c: 中心曲率(近軸領域での中心曲率)

r: 光軸からの距離

k: コニック係数

A: 4次の非球面係数

B: 6次の非球面係数

C: 8次の非球面係数

D: 10次の非球面係数

である。

【0061】なお、第1実施例の投影光学系PLは、E UV光の波長(露光波長)が13.4nm、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.25、最大物体高は120mmであり、露光領域は半径30mmで幅0.8mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として26×33mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面としての第1面Rと最終像面としての第3面Wとの間の距離は1256.0mmであり、複数の反射鏡M1～M6の有効径のうち、最大有効径は350mmである。

【0062】また、第2実施例の投影光学系PLは、E UV光の波長(露光波長)が13.4nm、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.25、最大物体高は120mmであり、露光領域は半径30mmで幅0.8mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として26×33mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面*

DO=656.02287

WD=458.088312

$|\beta|=0.25$

NA=0.25

面番号	RDY	THI	
0	∞	656.02287	第1面R(物体面)
1	-1276.20324	-271.371805	第1反射鏡M1
2	∞	-334.651065	開口絞りAS
3	1438.86029	846.083135	第2反射鏡M2
4	-12275.80368	-33.21576	第3反射鏡M3
5	894.81581	496.537275	第4反射鏡M4
6	228.99669	-458.088308	第5反射鏡M5
7	547.99421	458.088312	第6反射鏡M6
8	∞	-	第3面W(最終像面)

【0066】

*としての第1面Rと最終像面としての第3面Wとの間の距離は1286.0mmであり、複数の反射鏡M1～M6の有効径のうち、最大有効径は356mmである。

【0063】以下の表1～表4に、第1及び第2実施例の投影光学系PLの諸元の値を示す。表1及び表3において、左端には各反射面の面番号が示されている。また、RDYは各光学面の曲率半径を示しており、THIは各反射面間の面間隔を示している。そして、RDYの列には各反射面の近軸曲率半径が示されており、THIの列には各面間隔が示されている。また、表1及び表3中において、DOは第1面R(レチクル面)から最も第1面R側の光学面(この場合、第1反射鏡M1)までの距離、WDは最も第3面W側の光学面(この場合、第6反射鏡M6)から第3面(最終像面)Wまでの距離、 β は第1面R側から投影光学系へ光が入射するときの投影光学系の横倍率、NAは第3面W側の開口数をそれぞれ表している。なお、表1及び表3において、近軸曲率半径RDYの符号は第1面R側に向けて凸となる場合を正とし、面間隔THIは反射面の前後で符号が反転するものとする。

【0064】また、表2及び表4に、第1及び第2実施例の各反射鏡M1～M6の非球面データを示す。

【0065】

【表1】

【表2】

	第1反射鏡M1	第2反射鏡M2	第3反射鏡M3	第4反射鏡M4	第5反射鏡M5	第6反射鏡M6
k	-63.852601	-0.300827	279.546391	1.296415	-0.860712	-0.045352
A	-1.57595×10^{-10}	1.29073×10^{-10}	1.33840×10^{-9}	4.28688×10^{-10}	-3.47346×10^{-9}	6.46282×10^{-11}
B	-5.92594×10^{-15}	5.42500×10^{-16}	-7.34730×10^{-15}	7.84874×10^{-16}	1.95222×10^{-12}	2.37269×10^{-16}
C	3.79841×10^{-19}	-6.90750×10^{-21}	1.80998×10^{-19}	-1.73776×10^{-20}	-8.94621×10^{-17}	7.88065×10^{-21}
D	-8.75285×10^{-24}	1.31432×10^{-25}	-1.59139×10^{-24}	1.75273×10^{-25}	6.70728×10^{-21}	3.07988×10^{-27}

【0067】

* * 【表3】

D0=662.866421

WD=458.865864

|β|=0.25

NA=0.25

面番号	RDY	THI	
0	∞	662.866421	第1面R(物体面)
1	-1287.92436	-272.475429	第1反射鏡M1
2	∞	-320.391858	開口絞りAS
3	1461.52397	863.470604	第2反射鏡M2
4	-11822.29098	-34.459548	第3反射鏡M3
5	894.34366	499.261421	第4反射鏡M4
6	229.40247	-458.865867	第5反射鏡M5
7	545.06956	458.865864	第6反射鏡M6
8	∞	-	第3面W(最終像面)

【0068】

* * 【表4】

	第1反射鏡M1	第2反射鏡M2	第3反射鏡M3	第4反射鏡M4	第5反射鏡M5	第6反射鏡M6
k	-64.368315	-0.382461	486.330127	1.178793	-0.848486	-0.044020
A	-1.76898×10^{-10}	1.25692×10^{-10}	1.32276×10^{-9}	4.03148×10^{-10}	-3.35470×10^{-9}	6.58193×10^{-11}
B	-1.08637×10^{-14}	6.79717×10^{-16}	-7.66643×10^{-15}	9.33405×10^{-16}	2.18890×10^{-12}	2.43804×10^{-16}
C	6.28701×10^{-19}	-1.07714×10^{-20}	1.72349×10^{-19}	-2.03347×10^{-20}	-1.15365×10^{-16}	8.28750×10^{-22}
D	-1.48404×10^{-23}	2.29694×10^{-25}	-1.43741×10^{-24}	1.95552×10^{-25}	9.40494×10^{-21}	3.15572×10^{-27}

【0069】表5に、第1及び第2実施例における各反
射鏡M1～M6のベッツパール値p1～p6を示す。 ★ 【0070】

★ 【表5】

	第1実施例	第2実施例
p1	0.001567	0.001553
p2	0.001390	0.001368
p3	0.000163	0.000169
p4	0.002235	0.002236
p5	-0.008734	-0.008718
p6	0.003650	0.003669
p1+p2+p3+p4+p5+p6	0.000271	0.000278

【0071】図3及び図5に、第1及び第2実施例の投
影光学系PLの第1面R上でのコマ収差図を示す。この
50 コマ収差図は、波長13.4nmの光を用いて第3面W
側から光線追跡することにより得られている。ここで、

図3(a)は物体高 $Y=121.6\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(b)は物体高 $Y=120.0\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(c)は物体高 $Y=118.4\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(d)は物体高 $Y=121.6\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図、図3(e)は物体高 $Y=120.0\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図、図3(f)は物体高 $Y=118.4\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図である。同様に、図5(a)は物体高 $Y=121.6\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5(b)は物体高 $Y=120.0\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5(c)は物体高 $Y=118.4\text{mm}$ におけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5(d)は物体高 $Y=121.6\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図、図5(e)は物体高 $Y=120.0\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図、図5(f)は物体高 $Y=118.4\text{mm}$ におけるサジタル方向のコマ収差図である。

【0072】図3及び図5から明らかなように、第1及び第2実施例の投影光学系は、EUV光の 13.4nm の単波長において、球面収差、コマ収差ともほぼ無収差に近い状態まで良好に補正されている。

【0073】なお、上記第1及び第2実施例では、各反射鏡M1～M6の反射面を光軸AXに関して回転対称な高次非球面形状としているため、各反射鏡M1～M6にて発生する高次収差を補正して良好な結像性能を達成している。ここで、各反射鏡の反射面の面形状誤差や投影光学系の製造時における組み立て誤差等に起因する回転非対称な収差成分を補正するために、回転対称非球面を回転非対称な非球面としてもよい。

【0074】本実施形態の露光装置として、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを露光し、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置にも適用することができる。

【0075】露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置にも広く適当できる。

【0076】基板ステージやレチクルステージにリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもいい。また、ステージは、ガイドに沿って移動するタイプでもいいし、ガイドを設けないガイドレスタイプでもよい。

【0077】ステージの駆動装置として平面モータを用いる場合、磁石ユニット（永久磁石）と電機子ユニットのいずれか一方をステージに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットの他方をステージの移動面側（ベース）に設ければよい。

【0078】レチクルステージの移動により発生する反力は、特開平8-166475号公報に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。本発明は、このような構造を備えた露光装置においても適用可能である。

【0079】レチクルステージの移動により発生する反力は、特開平8-330224号公報に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。本発明は、このような構造を備えた露光装置においても適用可能である。

【0080】以上のように、本願実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0081】半導体デバイスは、図6に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ202、シリコン材料からウエハを製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。

【0082】

【発明の効果】本発明の投影光学系によれば、各反射鏡での光束の広がりを小さく抑えることができるので、各反射鏡の径を小さく抑えつつ良好な結像性能を得ることができる。また、用いられる反射鏡は6枚と少ないので、この投影光学系を露光装置に適用した場合、露光光の光量の低下の恐れは低減されるとともに、反射面の面形状誤差による結像性能の劣化を招く恐れも低減される。さらに、収差補正は、各反射鏡の反射面の形状の調整のほか、開口絞りの光軸方向の位置の調整によっても行うことができ、自由度の高い収差補正を行うことができる。

【0083】本発明の露光装置及び露光方法によれば、

良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影光学系の第1実施例を説明するための横断面の光路図である。

【図2】本発明の投影光学系を備えた露光装置を説明するための構成図である。

【図3】第1実施例のコマ収差図である。

【図4】本発明の投影光学系の第2実施例を説明するための横断面の光路図である。

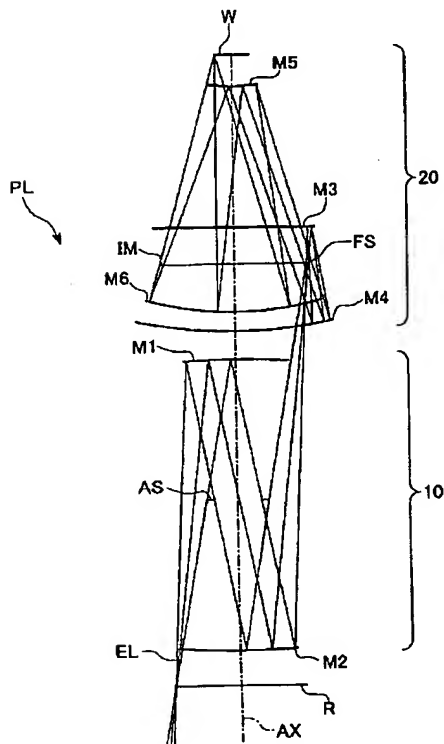
【図5】第2実施例のコマ収差図である。

【図6】半導体デバイスの製造工程の一例を説明するためのフローチャート図である。

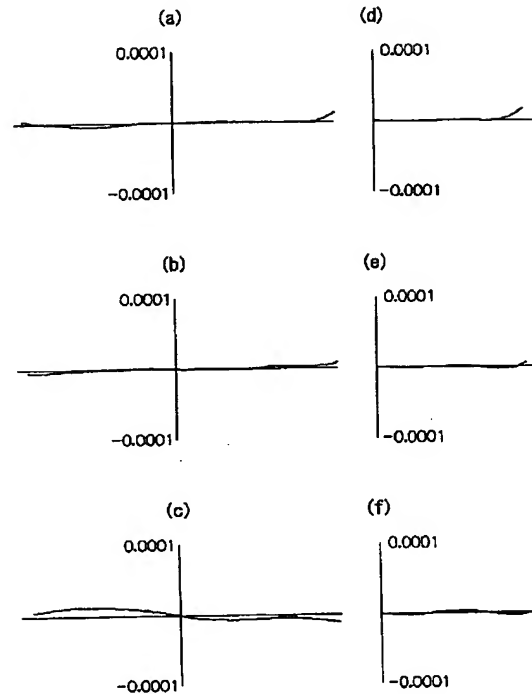
【符号の説明】

* 10	第1反射光学系
20	第2反射光学系
AS	開口絞り
AX	光軸
FS	視野絞り
IM	第2面
M1	第1反射鏡
M2	第2反射鏡
M3	第3反射鏡
M4	第4反射鏡
M5	第5反射鏡
M6	第6反射鏡
PL	投影光学系
R	第1面（マスク、レチクル）
* W	第3面（感光基板）

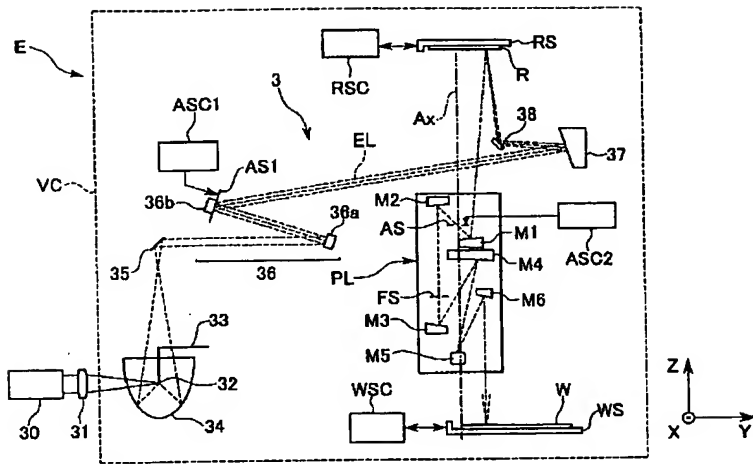
【図1】



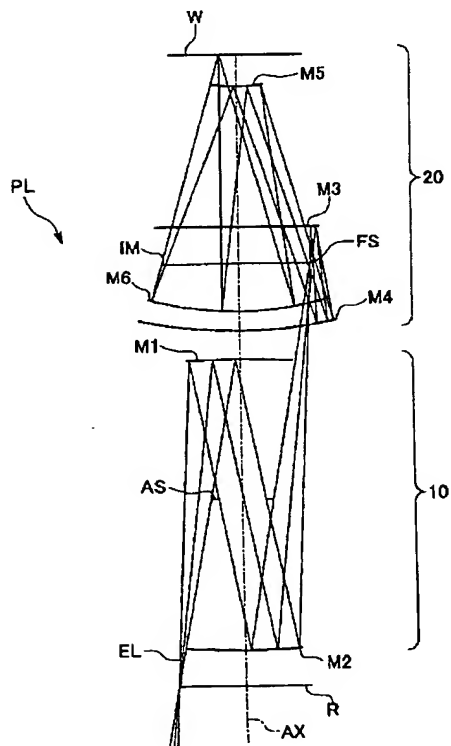
【図3】



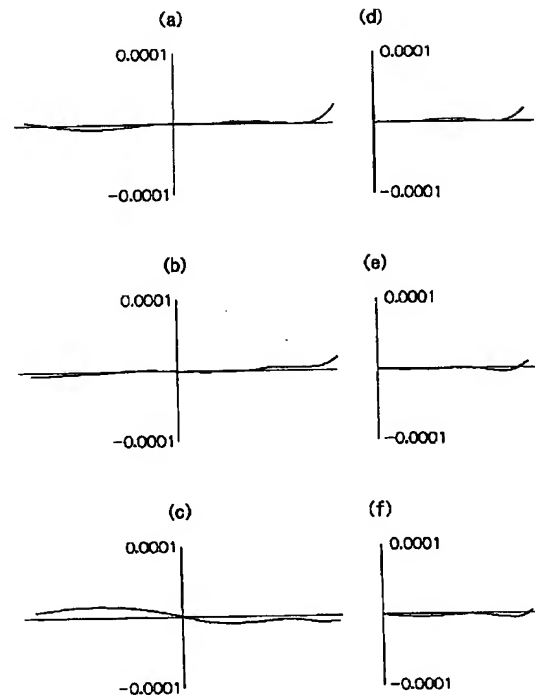
【図2】



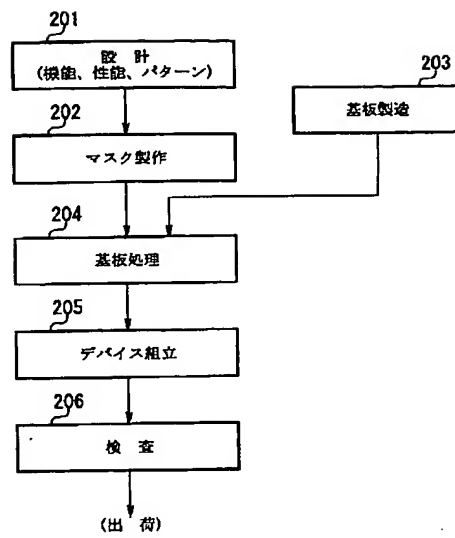
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
 G 0 3 F 7/20
 H 0 1 L 21/027

識別記号
 5 2 1

F I
 G 0 3 F 7/20
 H 0 1 L 21/30

テーマコード (参考)

5 2 1
 5 1 5 D

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.